Aus der Chirurgischen Universitätsklinik in Marburg
Direktor: Prof. Dr. H. Hamelmann

Die Refraktur langer Röhrenknochen als Komplikation verschiedener Methoden der Knochenbruchbehandlung - demonstriert am Krankengut der Chirurgischen Universitätsklinik Marburg/Lahn

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der
Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von

Alexander Schipke
aus Glatz

Marburg/Lahn 1973

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553805_0086

Aus der Chirurgischen Universitätsklinik in Marburg
Direktor: Prof. Dr. H. Hamelmann

Die Refraktur langer Röhrenknochen als Komplikation verschiedener Methoden der Knochenbruchbehandlung - demonstriert am Krankengut der Chirurgischen Universitätsklinik Marburg/Lahn

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der
Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von

Alexander Schipke
aus Glatz

Marburg/Lahn 1973

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg am 18. 9. 1973

gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Prof. Dr. med. H. Oepen

Referent: Prof. Dr. med. K. Hupe

Correferent: Prof. Dr. med. dent. H. Schnell

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

1. EINLEITUNG 1

2. ZUR DEFINITION DER REFRAKTUR 2

2.1 Der Bedeutungswandel des Begriffes "Refraktur" 2

2.2 Kritische Würdigung des behandelten Schrifttums 4

2.3 Die "Sekundärfraktur 5

2.4 Neue Einteilung der Refrakturen 6

3. MATERIAL 7

4. ERGEBNISSE 7

4.1 Vorbetrachtung zu der Auswertung der Refrakturen 7

4.2 Übersicht über das gesamte Krankengut 8

4.2.1 Die nach konservativer Behandlung aufgetretenen Sekundärfrakturen 8

4.2.2 Die nach operativer Behandlung aufgetretenen Sekundärfrakturen 9

4.2.2.1 Sekundärfrakturen als Folge verschiedener operativer Behandlungsmethoden 9

4.2.2.2 Sekundärfrakturen nach Marknagelungen 9

4.2.2.3 Sekundärfrakturen nach Druckplattenosteosynthese 10

4.2.2.4 Sekundärfrakturen nach Drahtcerclage 10

4.2.2.5 Sekundärfrakturen nach Versorgung mit Pins 10

Seite

4.3 Auswertung der einzelnen Sekundärfrakturen 10
4.3.1 Der Kallusbruch 11
4.3.2 Die Ermüdungsfraktur 12
4.3.3 Der Neutralisationsbruch 13
4.3.4 Der Versprödungsbruch 14
4.3.5 Der Dystrophiebruch 14

5. DISKUSSION DER EINZELNEN SEKUNDÄRFRAKTUREN 15

5.1 Der Kallusbruch 15
5.2 Der Ermüdungsbruch 19
5.3 Der Neutralisationsbruch 22
5.4 Der Versprödungsbruch 30
5.5 Der Dystrophiebruch 35
5.6 Schlußfolgerungen 37

6. ZUSAMMENFASSUNG 40

7. LITERATURVERZEICHNIS 42

1. EINLEITUNG

Die Refraktur langer Röhrenknochen war früher Thema weniger, aber ausführlicher Arbeiten (BÜTTNER 20, FRINTA 28, KAPEL 42, PERITZ 74, SAUPE 86, STRAUSS und MANDEL 97, TROELL 98). Heute wird sie jedoch nur beiläufig in Behandlungsstatistiken erwähnt, ohne daß auf ihre tiefere Ursache näher eingegangen wird. Man könnte daraus den voreiligen Schluß ziehen, daß mit Anwendung neuerer Osteosynthesemethoden, wie der Marknagelung nach KÜNTSCHER und der Druckplattenosteosynthese der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (A und O) die Refraktur an Bedeutung verloren hat. Diese ausreichend stabilisierenden Methoden haben zweifellos einige Vorteile gegenüber der konservativen Behandlung: so verhindern sie z.B. weitgehend Immobilisationsschäden an Muskeln und Gelenken, weil die verletzte Extremität nur kurzzeitig ruhiggestellt werden muß und der Patient deshalb frühzeitig mit Bewegungsübungen beginnen kann. Andererseits ergeben sich daraus aber auch Nachteile, denn durch Verwendung eines metallischen Fremdkörpers bei der Frakturheilung verändert sich der Knochen im Bereich des Implantates strukturell so, daß dadurch aus verschiedenen Gründen das Auftreten einer Refraktur begünstigt werden kann. Vielleicht ist dieser Variationsreichtum mit ein Grund dafür, daß die Refraktur im neueren traumatologischen Schrifttum kaum Beachtung findet.

Das Ziel dieser Arbeit soll der Versuch sein, anhand des Krankengutes der Chirurgischen Universitätsklinik Marburg/Lahn diejenigen Hauptursachen herauszuarbeiten, die zu einer Refraktur führen können, zum anderen sollen die Möglichkeiten zu ihrer Verhütung kurz diskutiert werden.

Es erscheint jedoch sinnvoll, zuvor eine neue Einteilung der Refrakturen vorzunehmen, da die übliche Klassifizierung als nicht befriedigend angesehen werden muß, denn sie läßt die, erst aufgrund moderner Osteosyntheseverfahren aufgetretenen biomechanischen Probleme unberücksichtigt und wird damit nicht mehr den jetzigen Anschauungen hinsichtlich der Pathogenese der Refrakturen gerecht.

2. ZUR DEFINITION DER REFRAKTUR

2.1 Der Bedeutungswandel des Begriffes "Refraktur"

STRAUSS und MANDEL (97) machten 1933 zwischen Rezidiv- und Refraktur noch keinen Unterschied und definierten sie als "Frakturen, die an der Stelle eines früheren Bruches in einem pathologisch nicht veränderten Knochen erfolgen". Ebenso treffen sie noch keine klare Abgrenzung gegenüber der Lokalisation des Zweitbruches, denn sie schreiben: "Im weiteren Sinne erfaßt die Bezeichnung den erneuten Bruch eines Knochens. Im engeren Sinne findet die Bezeichnung Anwendung auf einen Bruch an der Stelle eines früheren Bruches."

1941 veröffentlichte SAUPE (86) eine Arbeit unter dem Titel "Rezidivbrüche und Refrakturen", in der er versucht, die beiden Begriffe klarer gegeneinander abzugrenzen. Refraktur bedeutet für ihn das Wiederbrechen des Knochens an derselben Stelle. Somit sind diese Refrakturen Kallusbrüche oder "Knochenneubildungsbrüche". Unter Rezidivbruch versteht er das Brechen an einer zweiten Stelle des Knochens, da es sich hierbei nicht um eine Refraktur, sondern um ein Rezidiv, d.h. ein "Wiederauftreten derselben Krankheit, nämlich des Bruches irgendwo an demselben Gliedmaßenabschnitt handelt."

Dabei klammert SAUPE (86) alle pathologischen Frakturen aus, so z.B. alle Refrakturen, die aufgrund von Osteomyelitiden auftreten.

Diese weiterhin noch unbefriedigende Einteilung versuchte BÜTTNER (20) im Jahre 1948 durch Ergänzungen zu vervollkommnen. Er kritisierte zuerst den von SAUPE (86) geprägten Begriff "Rezidivbruch". Seiner Meinung nach handelt es sich bei einem Bruch an einer anderen Stelle desselben Knochens um keinen Rückfall, da der neue Bruch ohne jede innere Beziehung zum alten Bruch steht, sondern um einen Neubruch; somit kommt er zu folgender Einteilung:

1. Refraktur im eigentlichen Sinne - Kallusfraktur oder Knochenneubildungsbruch. Der zweite Knochenbruch erfolgt in der früheren Bruchebene, die nur durch die Heilungsvorgänge abgewandelt ist.
2. Neubruch.
3. Grenzzonenbruch. BÜTTNER (20) macht die Entdeckung, daß nicht selten der Zweitbruch in unmittelbarer Nähe der früheren Knochennarbe verläuft und macht dafür Unterschiede im Festigkeitsgrad der Knochennarbe und des angrenzenden Knochens verantwortlich.
4. Brüche im dystrophischen Knochen. Diese Brüche können auftreten, wenn sich während der Frakturheilung ein Knochenschwund stärkeren Grades einstellt und zu einem erneuten Bruch, auch fernab vom ersten, führt. Diese Zweitbrüche sind das Bindeglied zu den eigentlichen Spontanfrakturen.

2.2 Kritische Würdigung des behandelten Schrifttums

Zur Kritik dieser drei Arbeiten wäre zu sagen, daß die Einteilung von STRAUSS und MANDEL (97) schon deshalb nicht befriedigen kann, weil ein erheblicher Unterschied darin besteht, ob ein Knochen an derselben oder an einer anderen Stelle "refrakturiert".

SAUPE (86) wiederum klammert alle pathologischen Frakturen aus. Jedoch sollten auch die Refrakturen, die aufgrund einer bakteriellen Entzündung der Erstfraktur entstehen, ebenfalls in Refrakturstatistiken aufgenommen werden, da ja letztlich jede Fraktur eine Entzündung darstellt (KÜNTSCHER, 51), das eine Mal durch Gewebszerfall abakteriell, das andere Mal durch Bakterientoxine nach einer Infektion.

BÜTTNER (20) beachtet mit seiner Einteilung nur solche Refrakturen, denen morphologische Veränderungen, bedingt durch den Erstbruch, zugrunde liegen, also z.B. Refrakturen aufgrund ungenügender Belastbarkeit des neugebildeten Kallus oder Refrakturen durch ungleichmäßige periostale Kallusbildung durch in Achsenabknickung verheilter Frakturen oder Refrakturen durch Knochendystrophie. Jedoch gilt heute als erwiesen, daß auch allein durch Veränderung des Spannungszustandes an einem völlig normalen Röhrenknochen durch Versprödung (LEITZ, 61) eine Refraktur auftreten kann. Zum anderen sollte man Neubrüche, die BÜTTNER (20) unter Punkt 2 seiner Einteilung aufführt, überhaupt nicht in die Gruppe der Refrakturen einordnen, da sie mit dem Erstbruch - auch im weitesten Sinne - nichts zu tun haben.

2.3 Die " Sekundärfraktur "

Der Begriff "Refraktur" sollte - wie im deutschen Sprachraum schon lange üblich - nur auf solche Brüche angewendet werden, die mit dem Erstbruch topographisch übereinstimmen und mit ihm mittelbar zusammenhängen. Diese Refraktur kann, muß aber nicht, eine Kallusfraktur sein, um so weniger, als heute durch Anwendung moderner Osteosyntheseverfahren die kallusfreie angiogene Knochenbruchheilung bei Schaftbrüchen wesentlich häufiger vorkommt (SEGMÜLLER und ALLGÖWER, 92). Für diese Fälle wäre der von BÜTTNER (20) geprägte Begriff "Knochenneubildungsbruch" passender, jedoch kann man - nach WILLENEGGER et al. (107) - im allgemeinen auch bei der primären Knochenbruchheilung neben der corticogenen (=angiogenen) Heilung eine mehr oder weniger geringe periostale und auch endostale Knochenapposition beobachten, so daß die Bezeichnung "Kallusbruch" auch für diese Art der Heilung weiterhin seine Berechtigung hat.

Der somit nicht mehr verfügbare Überbegriff "Refraktur" sollte durch "Sekundärfraktur" ersetzt werden (KÖBLER und SCHIPKE, 48), weil unseres Erachtens damit besser als mit der deutschen Bezeichnung "Zweitbruch" zum Ausdruck gebracht wird, daß diese erneute Fraktur mehr oder weniger auf einen früheren Bruch zurückzuführen ist, außerdem könnte man bei der deutschen Bezeichnung leicht an eine Mehrfachverletzung denken.

Von der Lokalisation her ergibt sich somit folgende Einteilung der Sekundärfrakturen:

1. Refrakturen - hervorgerufen durch erneuten Bruch in der ehemaligen Frakturzone.

2. Grenzzonenbrüche und Plattenendzonenbrüche - hierbei bricht der Knochen mehr oder weniger weit entfernt von der ehemaligen Bruchstelle; dieser Sekundärbruch steht aber ebenso wie die Refraktur in ursächlichem Zusammenhang mit dem Erstbruch.

Diese Einteilung nach der Lokalisation kann jedoch noch nicht ganz befriedigen, denn sie sagt nichts über die Entstehungsursache der Sekundärfrakturen aus. Zwar müssen wir gerade bei den stabilen Osteosynthesemethoden - wie schon angedeutet wurde - mehrere Faktoren berücksichtigen, die ein Refrakturieren des Knochens begünstigen (z.B. Spongiosierung der Corticalis, Kerbwirkung, Elastizitätsverlust), jedoch sollte es in den meisten Fällen durch sorgfältige Nachuntersuchung und durch den Röntgenbefund möglich sein, eine Hauptursache zu finden, die für die Sekundärfrakturen verantwortlich ist.

2.4 Neue Einteilung der Refrakturen

Bei Analysierung der Sekundärfrakturen der Chirurgischen Universitätsklinik Marburg/Lahn ergab sich, daß sie nur auf wenige Faktoren zurückzuführen sind.
Sekundärfrakturen infolge

1. plötzliche Überbelastung eines störungsfrei unter Kallusbildung heilenden Knochens (= Kallusbruch = Knochenneubildungsbruch);
2. einer mehr oder weniger chronischen Überbelastung (= Ermüdungsbruch);
3. funktionelle Anpassung des Knochens an das Osteosynthesematerial (= Neutralisationsbruch);
4. Veränderung des Spannungszustandes des Knochens (= Versprödungsbruch) und
5. gestörte Ernährung (= Dystrophiebruch).

3. MATERIAL

Aus den Krankenblättern der Chirurgischen Universitätsklinik Marburg/Lahn wurden sämtliche Patienten mit Schaftfrakturen der langen Röhrenknochen herausgesucht, die in den Jahren 1961 - 1970 stationär aufgenommen worden waren. Folgende Daten aus den Krankengeschichten wurden auf extra vorbereiteten Bögen festgehalten: Name und Geburtsdatum des Patienten, Unfallereignis, Fraktur, Begleitverletzungen oder -erkrankungen, Erstversorgung außerhalb, Versorgung in der Chirurgischen Universitätsklinik Marburg/Lahn, Krankheitsverlauf und Dauer des Krankenhausaufenthaltes. Traten Komplikationen bei der Knochenbruchheilung auf, so wurden zusätzlich die betreffenden Röntgenaufnahmen in der Röntgenabteilung eingesehen.

4. ERGEBNISSE

4.1 Vorbetrachtung zu der Auswertung der Refrakturen

Folgende Schwierigkeiten traten bei der exakten Erfassung der Refrakturen auf:

1. Die Diagnose "Sekundärfraktur" fiel in einigen Fällen nicht ganz leicht. Zwar kann eine Refraktur definitionsgemäß nur dann auftreten, wenn der Erstbruch abgeheilt ist, aber gerade bei den stabilisierenden Osteosynthesemaßnahmen ist es bei Fällen "verzögerter Bruchheilung" manchmal nicht leicht, zwischen Pseudarthrose und Refraktur klar zu unterscheiden.
2. In einigen Fällen wurden die Patienten nach der Erstversorgung in ein anderes Krankenhaus verlegt

und entgingen somit unserer weiteren Beobachtung; auch muß bei einem kleinen Teil der Patienten angenommen werden, daß sie nach aufgetretenen Komplikationen den Arzt gewechselt haben.

5. Bei einem geringen Teil der Patienten war bei Abschluß der Untersuchungen das Osteosynthesematerial noch nicht entfernt worden.

4.1 Übersicht über das gesamte Krankengut

In dem bearbeiteten Zeitraum (von 1961 - 1970) wurden 1126 Patienten mit Schaftbrüchen stationär aufgenommen. Davon wurden 558 operativ und 568 konservativ versorgt. Wir beobachteten dabei insgesamt 43 Sekundärfrakturen, die sich wie folgt auf die beiden Patientengruppen verteilen:

4.2.1 TABELLE 1 : Die bei konservativer Behandlung von Schaftbrüchen (1961 - 1970) aufgetretenen Sekundärfrakturen

Lokalisation der Fraktur	Anzahl der Patienten	Anzahl der Refrakturen
Oberarm	60	2
Unterarm	86	4
Oberschenkel	83	3
Unterschenkel	339	8
Insgesamt	568	17

4.2.2 TABELLE 2 : Die bei operativer Behandlung von Schaftbrüchen (1961 - 1970) aufgetretenen Sekundärfrakturen

Lokalisation der Fraktur	Anzahl der Patienten	Anzahl der Refrakturen
Oberarm	62	4
Unterarm	82	4
Oberschenkel	197	5
Unterschenkel	217	13
Insgesamt	558	26

4.2.2.1 Sekundärfrakturen als Folge verschiedener operativer Behandlungsmethoden

Unterteilt man die bei der operativen Behandlung aufgetretenen Sekundärfrakturen nach den einzelnen Behandlungsmethoden, so ergibt sich folgendes Bild:

4.2.2.2 TABELLE 3 : Die in unserer Klinik durchgeführten Marknagelungen (1961 - 1970) und die dabei aufgetretenen Sekundärfrakturen

Lokalisation der Fraktur	1961	62	63	64	65	66	67	68	69	70	Ges.	Refraktur
Oberarm	--	6	3	1	6	2	--	5	2	--	25	1
Unterarm	--	--	--	--	3	--	--	1	--	--	4	-
Oberschenkel	16	17	19	22	16	13	25	18	13	28	187	2
Unterschenkel	4	7	16	17	13	21	16	17	12	15	138	5
Insgesamt	20	30	38	40	38	36	41	41	27	43	354	8

4.2.2.3 TABELLE 4 : In unserer Klinik werden Druckplattenosteosynthesen erst seit 1963 durchgeführt, deshalb enthält die folgende Tabelle die von 1963 - 1970 durchgeführten Druckplattenosteosynthesen und die dabei aufgetretenen Sekundärfrakturen.

Lokalisation der Fraktur	1963	64	65	66	67	68	69	70	Ges.	Refraktur
Oberarm	--	--	1	--	--	2	4	--	7	2
Unterarm	8	9	14	4	6	6	7	9	63	2
Oberschenkel	--	1	--	--	--	--	9	3	13	3
Unterschenkel	9	14	2	3	--	--	17	8	53	5
Insgesamt	17	24	17	7	6	8	37	20	136	12

4.2.2.4 Sekundärfrakturen nach Drahtcerclage

Die Drahtcerclage wurde in dem bearbeiteten Zeitraum (1961 - 1970) als alleinige stabilisierende Maßnahme in 15 Fällen angewandt. Diese Osteosynthesemaßnahme führte in 4 Fällen zu Sekundärfrakturen.

4.2.2.5 Sekundärfrakturen nach Versorgung mit Pins

Die beiden restlichen Sekundärfrakturen traten bei einem Ober- und Unterarm auf, die mit einem Rush-pin versorgt worden waren (Gesamtzahl der mit einem Rush-pin versorgten Schaftfrakturen = 41)

4.3 Auswertung der einzelnen Sekundärfrakturen

Analysieren wir die Sekundärfrakturen nach der oben erarbeiteten Einteilung, so ergibt sich folgendes Bild:

Art der Sekundärfraktur	Kallusbruch	Ermüd.-bruch	Neutr.-bruch	Verspr.-bruch	Dystr.-bruch
Anzahl der Fälle	14	10	5	5	9

Tabelle 5 : Einteilung der 43 Sekundärfrakturen

4.3.1 Der Kallusbruch

Er tritt in unserem Krankengut bei 14 Patienten auf und ist somit am häufigsten vertreten.

Die altersmäßige Verteilung dieser Sekundärfrakturen ist folgende:

Patienten bis zu 16 Jahren	erlitten 7 Refrakturen
Patienten bis zu 21 Jahren	erlitten 5 Refrakturen
Ältere Patienten	erlitten 2 Refrakturen

Tabelle 6 : Altersmäßige Verteilung der Kallusbrüche

Bei den Patienten bis zu 16 Jahren, die alle konservativ behandelt wurden, waren folgende Extremitäten gebrochen:

Oberarm	--
Unterarm	4 Refrakturen
Oberschenkel	2 Refrakturen
Unterschenkel	1 Refraktur

Tabelle 7 : Lokalisation der Refrakturen bei den Patienten bis zu 16 Jahren

6 Patienten waren Jungen, ein Patient ein Mädchen. Bei den Patienten bis zu 21 Jahren wurden ebenfalls alle bis auf einen Unterarm, der mit einem Rush-pin

versorgt wurde, konservativ behandelt. Es ergibt sich folgende Verteilung:

Oberarm	2 Refrakturen
Unterarm	1 Refraktur
Oberschenkel	1 Refraktur
Unterschenkel	1 Refraktur

Tabelle 8 : Lokalisation der Refraktur bei den Patienten bis zu 21 Jahren

Hierbei waren alle Patienten männlichen Geschlechts.

Diese 11 konservativ behandelten Kallusbrüche entsprechen 65 % der Sekundärfrakturen nach konservativer Behandlung.

Bei den beiden älteren Patienten, die einen Kallusbruch erlitten, wurden ein Unterschenkel mit einem Marknagel und ein Oberarm mit einem Rush-pin versorgt.

4.3.2 Die Ermüdungsfraktur

Ermüdungsfrakturen wurden in unserem Krankengut 7 mal durch Metallermüdung und 3 mal durch Ermüdung des Knochengewebes hervorgerufen.

Die Metallermüdungsbrüche verteilen sich dabei wie folgt auf die einzelnen Implantate:

1. Marknagel Oberarm, Nagelbruch nach 5 Jahren
2. Marknagel Oberschenkel, Nagelbruch nach 3 Monaten
3. Druckplatte Oberarm, Plattenbruch nach 1 Monat
4. Druckplatte Oberarm, Plattenbruch nach 4 Monaten
5. Druckplatte Oberschenkel, Plattenbruch nach 3 Monaten
6. Druckplatte Oberschenkel, Plattenbruch nach 2 1/2 Mon.
7. Druckplatte Oberschenkel, Plattenbruch nach 2 1/4 Mon.

Tabelle 9 : Ermüdungsbrüche von Metallimplantaten

Wir verzeichnen in unserem Krankengut - wie Tabelle 9 zeigt - 3 Oberschenkelfrakturen durch Bruch der Druckplatten. Im bearbeiteten Zeitraum wurden an unserer Klinik 13 Oberschenkel mit einer Druckplatte versorgt, somit entspricht das einer Refrakturhäufigkeit von 23,1 %.

Die 3 Refrakturen durch Ermüdung des Knochengewebes sahen wir alle am Unterschenkel. 2 davon nach Ausbildung einer Tibiapseudarthrose mit Refraktur der Fibula, die dritte nach Marknagelung.

4.3.3 Der Neutralisationsbruch

Unsere 5 Neutralisationsbrüche traten 4 mal nach Druckplattenosteosynthese und 1 mal nach Marknagelung auf.

Es ergibt sich folgende Aufstellung:

1. Druckplattenosteosynthese einer Radiusfraktur, nach 11 Monaten Entfernung der Platte, 4 Tage später Refraktur
2. Druckplattenosteosynthese einer Ulnafraktur, nach 12 Monaten Plattenentfernung, nach weiteren 3 1/2 Monaten Refraktur
3. Druckplattenosteosynthese einer Unterschenkelfraktur, nach 8 Monaten Entfernung der Platte, nach 3 1/2 Monaten Refraktur
4. Druckplattenosteosynthese einer Unterschenkelfraktur, nach 2 Jahren Entfernung der Platte, nach 6 Monaten Refraktur
5. Marknagelung einer Unterschenkelfraktur, nach 17 Monaten Entfernung des Nagels, nach 6 Monaten Refraktur

---

Tabelle 10 : Neutralisationsbrüche nach den verschiedenen Osteosynthesemaßnahmen

4.3.4 Der Versprödungsbruch

Sekundärfrakturen infolge Versprödung beobachteten wir in unserem Krankengut in 5 Fällen, 2 mal nach konservativer Behandlung, 2 mal nach Drahtumschlingung und 1 mal nach Marknagelung.

In 4 Fällen war der Unterschenkel und in einem Fall der Oberschenkel betroffen.

4.3.5 Der Dystrophiebruch

Refrakturen infolge ungenügender Ernährung des Knochens beobachteten wir in 9 Fällen. 4 mal nach konservativer Behandlung und 5 mal nach operativer Behandlung.

Es ergibt sich folgende Aufteilung:

Lokalisation der Fraktur	Art der Behandlung	Refraktur-ursache
1. Unterschenkel	Druckplatte	Infektion
2. Unterschenkel	Druckplatte	Infektion
3. Unterschenkel	Marknagel	Sperrwirkung der Fibula und Infektion
4. Oberschenkel	Marknagel und Cerclage	ungenügende Kallusbildung
5. Unterschenkel	Cerclage	ungenügende Kallusbildung
6. Unterschenkel	kons.Behandlung	Osteomyelitis
7. Unterschenkel	kons.Behandlung	ungenügende Kallusbildung
8. Unterschenkel	kons.Behandlung	ungenügende Kallusbildung
9. Unterschenkel	kons.Behandlung	ungenügende Kallusbildung

Tabelle 11 : Dystrophierefrakturen

5. DISKUSSION DER EINZELNEN SEKUNDÄRFRAKTUREN

5.1 Der Kallusbruch

Er tritt in unserem Krankengut in der Mehrzahl der Fälle bei Kindern und Jugendlichen auf. Das deckt sich mit den in der Literatur beschriebenen Fällen von Kallusfrakturen (BREMER 14, BÜTTNER 20, FRINTA 28, KAPEL 42, PERITZ 74, SAUPE 86, SEYFFARTH 96, STRAUSS und MANDEL 97). Die meisten dieser Autoren sehen im Vorderarm die bevorzugte Lokalisation für diese Sekundärfrakturen. Auch das entspricht in etwa unserer Erfahrung, wobei in unserem Krankengut das Bild insoweit verfälscht wird, daß ein Teil dieser Refrakturpatienten nicht stationär aufgenommen wurde und somit nicht ausgewertet werden konnte.

Über die Ursache dieser Kallusfrakturen gehen die Meinungen der einzelnen Autoren jedoch auseinander. FRINTA (28) unterteilte sein Krankengut in zwei Gruppen. In der ersten befanden sich solche Refrakturen, die durchschnittlich 10 Tage nach der Gipsabnahme auftraten. Als Ursache nahm er bei einer durchschnittlichen Ruhigstellung von 4 - 6 Wochen bei Vorderarmschaftbrüchen eine zu kurze Ruhigstellung an und bezeichnete diese Refrakturen als "Brüche des unreifen Kallus". In der zweiten Gruppe waren solche Refrakturen, die frühestens nach durchschnittlich 76 Tagen auftraten. FRINTA (28) bezeichnete sie als Brüche des "geschwächten Kallus" und sah in ihnen die Folge einer Heilungsstörung durch Verzögerung der Kallusreifung und Verkalkung. Dies wird seiner Meinung nach hervorgerufen durch eine Säuerung der Bruchumgebung, die

durch Sauerstoffmangel ausgelöst wird, da es infolge von Reflexreizung zu einem Gefäßspasmus kommt.

Diese Ursache kann zweifellos einmal zu einer Refraktur führen, sie stellt jedoch in der Regel eine große Ausnahme dar, und es wäre zu erwägen, ob es sich hierbei nicht um Dystrophiebrüche handelt.

PERITZ (74) wiederum nahm Ernährungsbedingungen (Kriegs- und Nachkriegsjahre) und Vitaminmangel durch die Wintermonate als Ursache der Refrakturen seines Krankengutes an. Mag das auch früher eine der Refrakturursachen gewesen sein, so darf man doch nicht verkennen, daß gerade in den Wintermonaten die Frakturhäufigkeit ansteigt und somit ebenfalls eine Erklärung für die häufigeren Refrakturen zu dieser Jahreszeit wäre.

Wir müssen uns vielmehr der Meinung BÜTTNERS (20), KAPELS (42), SAUPES (86) und SEYFFARTHS (96) anschließen, die eine ungenügende Festigkeit des Kallus als Refrakturursache annehmen.

Die Knochenbrüche von Kindern werden auch heute meist konservativ behandelt. EHALT (25) gibt als Heildauer einer Vorderarmfraktur bei Kindern bis zum Alter von 10 Jahren 5 - 6 Wochen und bis zum Alter von 16 Jahren 8 - 10 Wochen an. Nach dieser Zeit ist die Fraktur in den meisten Fällen zwar klinisch fest und physiologischen Ansprüchen gewachsen, jedoch ist mit dem Auftreten und der Verfestigung des Kallus die Knochenbruchheilung noch längst nicht abgeschlossen. Das läßt sich folgendermaßen erklären: Bei jedem Bruch eines Röhrenknochens sterben die Osteozyten im Bereich der Fraktur in einer variablen Breite ab, weil ihre Ernährung durch die Zerreißung vieler Blutgefäße mangelhaft geworden ist.

Dieser nekrotische Knochen muß im Laufe der Knochenreparation vom Kallus aus schleichend ersetzt werden. Erst wenn dieser Prozeß abgeschlossen ist, kann die Bruchheilung als beendet betrachtet werden (GEISER 29). Bei einem Erwachsenen dürfte das nicht vor einem Jahr der Fall sein; bei einem Kind wird der Bruch zwar schneller heilen, aber mit Abnahme des Gipsverbandes ist der Knochen noch nicht in der Lage, starke Belastungen aufzunehmen. Zwei Beispiele aus unserem Krankengut mögen das zeigen:

Patient H.S., 13 J.: Fraktur des rechten Vorderarmes, konservative Behandlung auswärts. Der Bruch war gut ausgeheilt; nach 3 1/2 Monaten Refraktur durch Sturz auf beide Arme beim Spielen.

Patientin U.R., 16 J.: Durch Autounfall Trümmerfraktur des linken Oberschenkels. 13 Wochen Drahtextension. Bruch war klinisch fest; nach 5 Wochen Refraktur. Die Patientin war über einen Teppich gestolpert und hingefallen.

In beiden Fällen führte ein erneutes starkes Trauma zur Refraktur, das durch seine Intensität vielleicht auch an einem gesunden Knochen eine Fraktur hätte hervorrufen können.

Wir sehen bei einem Erwachsenen die Kallusfraktur viel seltener, weil bei ihm ungewollte Überbelastungen durch Sturz etc. nicht so häufig vorkommen. Trotzdem kann auch hier eine Kallusfraktur nicht ausgeschlossen werden, wie folgender Fall zeigt:

Patient G.L., 24 J.: Komplizierte Querfraktur des rechten Unterschenkels im distalen Drittel. Am Unfalltag geschlossenene Marknagelung, die zu einer befriedigenden Osteosynthese führte. Nach 23 Monaten Entfernung des Marknagels. Der Bruchspalt war im Röntgenbild nicht mehr zu sehen; nach weiteren 3 Monaten Refraktur durch einen Arbeitsunfall; ein Baumstamm schlug gegen das rechte Bein des Patienten.

Auch hier führte ein erneutes starkes Trauma zur Refraktur. Der ehemalige Frakturspalt war offensichtlich trotz der langen Ruhigstellung noch nicht vollständig belastungsoptimal durchstrukturiert, um nach Entfernung des Nagels einer so starken Gewalteinwirkung standzuhalten. Bei diesem Fall fällt die Abgrenzung gegenüber dem Neutralisationsbruch, der eine funktionelle Anpassung des Knochens an das Osteosynthesematerial zur Voraussetzung hat, nicht ganz leicht. Jedoch führen dort in der Regel minimale Traumen zur Refraktur, zum anderen gestattet der Marknagel meistens schon während der Frakturheilung dem Knochen, sich belastungsorientiert durchzustrukturieren, weil er durch seinen Sitz im Markrohr die Corticalis nicht wesentlich entlastet und sich außerdem nach einiger Zeit lockert, so daß es hier nicht so leicht zu einer funktionellen Anpassung des Knochens an den Marknagel kommt. Trotzdem zeigt dieser Fall, daß der Knochen im Bereich der ehemaligen Frakturzone seine alte Festigkeit nur langsam zurückgewinnt und deshalb nach Entfernung des Implantates nicht übermäßig belastet werden darf.

Die Kallusfraktur von Kindern und Jugendlichen ist eine relativ häufige Komplikation bei der Knochenbruchheilung. In unserem Krankengut sind 2/3 aller Sekundärfrakturen

nach konservativer Behandlung darauf zurückzuführen, jedoch sollte das nicht dazu verleiten, eine Fraktur über Monate hinaus ruhigzustellen, um nur unter allen Umständen eine Refraktur zu vermeiden. Vielmehr sollte auch hier die Dauer der Ruhigstellung nach dem Röntgenbefund erfolgen, wobei man aber die Möglichkeit einer ungewollten Überbelastung in den Therapieplan mit einbeziehen sollte.

5.2 Der Ermüdungsbruch

In unserem Krankengut beobachten wir die Ermüdungsrefraktur häufig durch Bruch der Metallimplantate, wobei wir jedoch annehmen dürfen, daß dabei kaum Materialfehler eine Rolle spielen, denn heute werden zur Herstellung von Platten und Marknägeln fast ausschließlich hochwertige V4A- oder Vitalliumstähle verwendet. Auch Korrosionsbrüche durch Benutzung verschiedener sich berührender Metallegierungen haben nach Einführung eines einheitlichen Instrumentariums bei Marknagelungen und Druckplattenosteosynthese kaum noch klinische Bedeutung.

Vielmehr müssen wir die Ursache dieser Refrakturen in einer chronischen Überbeanspruchung des Metallimplantates sehen. Zu Beginn der Frakturheilung ist das Metall im wesentlichen der einzige Kraftträger, aber auch bei fortgeschrittener Heilung wird das Implantat die meisten Kräfte aufnehmen müssen, denn der neugebildete Kallus ist überhaupt noch nicht belastbar - wie KÜNTSCHER (51) an einem 3 Wochen alten Kallus zeigen konnte - sondern reißt schon bei sehr geringen Druck- und Zugbeanspruchungen ein; kommen zu diesem mehr oder weniger unvermeidlichen Beanspruchungen noch weitere, etwa eine zu frühe oder zu starke Belastung der Extremität, so wird das Metall auf die Dauer eine

Zermürbung seines Gefüges erfahren und brechen (BÜRKLE DE LA CAMP 19).

Dieser Vorgang ist elektrochemisch als Spannungskorrosion zu deuten; man versteht darunter die Zerstörung der passiven Oberflächenschicht der Metalle durch abnorme mechanische Beanspruchung, auch bei Verwendung technisch und biologisch einwandfreier Metalle (CONTZEN 22). Auf der Metalloberfläche bilden sich dabei Trübungen, Unregelmäßigkeiten und grubenartige Vertiefungen aus, die dann zu Verbiegung oder Bruch des Metalles führen können.

Aber auch nach Entfernung des Osteosynthesematerials oder nach konservativer Behandlung kann es zu Ermüdungsrefrakturen kommen, wie folgende Fälle aus unserem Krankengut zeigen:

Patient W.R., 53 J.: Unterschenkelfraktur (Tibia distales Drittel, Fibula proximales Drittel), Kompressionsschraubenosteosynthese. Nach 8 Monaten Entfernung des Osteosynthesematerials, nach weiteren 3 Monaten erneute Aufnahme wegen beginnender Tibiapseudarthrose mit Fibularefraktur. Der Patient war mit dem Fuß umgeknickt.

Patient K.Z., 39 J.: Patient zog sich bei einem Verkehrsunfall eine komplizierte Unterschenkelfraktur rechts zu. Nach Wundheilung wurde eine Unterschenkelmarknagelung durchgeführt. Nach 11 Monaten erschien der Patient in unserer Klinik, weil er seit Wochen Schmerzen unterhalb des Kniegelenkes beim Gehen hatte. Der Lokalbefund zeigte, daß unterhalb des Kniegelenkes der Nagelkopf durchtastbar war. Da das Röntgenbild eine noch nicht vollständige Konsolidierung der Fraktur

zeigte, wurde dem Patienten eine Umnagelung vorgeschlagen, die er jedoch ablehnte. Deshalb frühzeitige Entfernung des Nagels. Nach 3 Wochen verspürte der Patient zunehmend Schmerzen im Bein, schließlich konnte er nicht mehr auftreten. Der Röntgenbefund ergab eine Refraktur.

In beiden Fällen führte eine chronische Überbelastung des Knochens zu einer Refraktur, im ersten durch Ausbildung einer Tibiapseudarthrose, im zweiten durch zu frühe Belastung der Tibia.

Durch unphysiologische Beanspruchung des neugebildeten Knochengewebes über einen längeren Zeitraum ist es hier zu einem Umbau im Gewebe, zu einer "Zerrüttung" gekommen. Histologisch gesehen ordnen sich dabei die betroffenen Zellgruppen mit ihren Bindegewebsfasern in Richtung der einwirkenden Schubkräfte um. Dadurch hat der Knochen in diesem Bereich seine elastischen Eigenschaften verloren, denn dieser Umbau ist ein irreversibler Vorgang. Man spricht in der Festigkeitslehre von plastischer Verformung. Ebenso kommt es nun zu Mikroblutungen durch Zerreißung vieler kleiner Kapillaren (HAASE 37); die Folge ist eine ungenügende Ernährung des Knochenabschnittes. Durch weitere Belastung erfolgt dann der Bruch.

Die Verhütung dieser Sekundärfrakturen beruht einmal darin, eine zu frühe Belastung der verletzten Extremität zu vermeiden; dabei gilt grundsätzlich, daß Frakturen mit innerer Schienung früher belastbar sind, als solche durch Schrauben- oder Plattenosteosynthese (PELZL 73). Der Hauptgrund ist wohl darin zu sehen, daß bei der Marknagelung neben dem Nagel auch die Knochencorticalis Kräfte übertragen kann, während die

Druckplatte durch ihre Starrheit und ihren Sitz außen am Knochen weitgehend alle Kräfte aufnimmt und es hierbei durch Überbeanspruchung relativ leicht zum Bruch kommem kann. Deshalb beobachten wir in unserem Krankengut Nagelbrüche wesentlich seltener als Plattenbrüche: vornehmlich am Oberschenkel führten bei uns 1 4 aller Druckplattenosteosynthesen zur Refraktur durch Bruch der Platte. Vielfach wird deshalb empfohlen, zwei Platten zu verwenden, jedoch wird dadurch die größere Stabilität durch stärkere Versprödung und größere morphologische Veränderung des Knochens erkauft. Auch sollten die Platten dann zweizeitig entfernt werden, um dem Knochen genügend Zeit zum Umbau zu geben.

Auch das fehlerhafte Anlegen von Platten und die Verwendung zu dünner Marknägel können den Bruch des Metalls zur Folge haben. Nach Entfernung des Implantates soll der Patient erst allmählich stärker belasten, weil jetzt ein zusätzlicher Kraftträger - nämlich das Metall - weggefallen ist.

Auf die Beschaffenheit des Metalls sollte ebenfalls geachtet werden: FISCHER-MASELS und SCHONEMANN (27) empfehlen, Beschädigungen der Metalloberfläche zu vermeiden, weil dadurch Kerben entstehen, die zu Spannungsspitzen führen und die Schwingfestigkeit des Implantates herabsetzen. Ebenso empfehlen sie, Marknägel gut zu polieren, um die Oberflächengüte zu erhöhen.

1.1 Der Neutralisationsbruch

Er ist dadurch gekennzeichnet, daß er die strukturelle Anpassung des Knochens an das Implantat zur Voraussetzung hat.

Wie schon dargelegt, übernimmt das Metallimplantat für eine gewisse Zeit die Kräfte, die auf den Knochen einwirken, es neutralisiert somit den Frakturspalt. Was dadurch für die Knochenbruchheilung gewonnen ist, sei im folgenden Abschnitt kurz geschildert.

KROMPECHER (50) hat 1935 an embryonalen Rattenschädeln nachgewiesen, daß, wenn während der Ossifikation das Gewebe unter Zugspannung gehalten wird, Bindegewebe als Stützgewebe entsteht. Diesen Vorgang bezeichnete er als desmale Ossifikation. Bei Druckspannungen jedoch entsteht Knorpel (chondrale Ossifikation). Findet die Ossifikation aber in einer von Spannungen völlig freien (neutralen) Zone statt, dann entsteht kein intermediäres Stützgewebe, es erfolgt die primäre angiogene Ossifikation, d.h. die Osteoblasten, die die Blutgefäße begleiten, scheiden das Osteoid ab, das durch Einlagerung von Kalksalzen seine Härte gewinnt. Dadurch entsteht ein um das Blutgefäß in Lamellen angeordneter Knochen.

Dieser Vorgang ist auch am erwachsenen Knochen reproduzierbar, wie ALLGÖWER et al.(3), MÜLLER (68), SCHENK et al. (88), SEGMÜLLER et al. (92) und WILLENEGGER et al. (107) beweisen konnten; dazu ist jedoch erforderlich, daß die Knochenneubildung in einem mechanisch neutralen Feld erfolgt. Nur hier vollzieht sich eine Corticalisregeneration aus den Havers'schen Kanälen und es entsteht ein direkt aus Osteonen aufgebauter, geordneter Knochen (BASSETT 8), und wir bezeichnen den Vorgang als primäre Knochenbruchheilung.

Erfolgt die Knochenbruchheilung jedoch in mechanischen Spannungsfeldern, dann werden die von Osteoblasten umhüllten Gefäße durch Intermediärgewebe gegen die mechanischen Einflüsse abgeschirmt. Es kommt zur Ausbildung eines Fixationskallus und erst dann zur Bildung von lamellärem Knochen (sekundäre Knochenbruchheilung).

Es wird deutlich, daß es sich bei der primären und sekundären Knochenbruchheilung nicht um zwei verschiedene Arten der Heilung handelt, sondern daß die Unterschiede mehr im Quantitativen liegen, ist doch die Größe des Fixationskallus hauptsächlich abhängig von der Größe des Frakturspaltes und von der Unruhe im Frakturgebiet. Werden diese beiden Faktoren weitgehend ausgeschaltet, so brauchen sich die reparativen Vorgänge nur auf den Frakturspalt zu beschränken, was von der Ökonomie der Knochenbruchheilung als sehr sinnvoll erscheint. Andererseits ist die sofortige Ausbildung von hochwertigem Knochen nur dann nützlich, wenn damit auch eine baldige Belastbarkeit der verletzten Extremität verbunden ist; das ist aber nur dann zu erreichen, wenn die neugebildeten Osteone sofort belastungsorientiert angeordnet werden. Untersucht man daraufhin die beiden heute gebräuchlichsten operativen Verfahren, nämlich die Marknagelung und die Druckplattenosteosynthese, so ergeben sich in dieser Hinsicht wesentliche Unterschiede.

Bei der Druckplattenosteosynthese ist es nur in der plattennahen Corticalis möglich, die Fragmentenden ideal zu adaptieren, während in der plattenfernen Corticalis immer ein Spalt in den corticalen Fragmentenden bleiben wird. Deshalb ist - nach WILLENEGGER et al. (107) - mit zwei Heilungsmechanismen zu rechnen, der Kontakt- und Spaltheilung. Bei der Kontaktheilung erfolgt die Knochenregeneration über longitudinal gerichtete neue Osteone. Ihre Bildung wird eingeleitet durch Osteoklasten, die einen Resorptionskanal "ausbohren", der unmittelbar anschließend von Osteoblasten besiedelt und mit neuen Knochenlamellen ausgefüllt wird. Zum Eindringen von endostalen und periostalen Blutgefäßen kommt es hierbei nicht. Bei der Spaltheilung jedoch dringen diese Blutgefäße in den Spalt ein, da sich die corticalen Fragment-

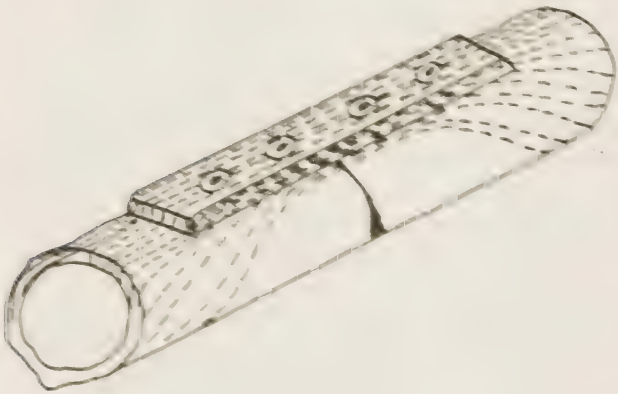
enden nicht berühren. Nun kommt es zur Ausdifferenzierung von Knochengewebe entlang der eingesprossenen Blutgefäße. Erst in einem zweiten Schritt erfolgt die Durchwachsung mit belastungsorientierten Osteonen, die einerseits aus der Corticalis, andererseits aus dem Knochengewebe der Spalte selbst stammen. Somit ist dieser Knochenabschnitt erst nach längerer Zeit belastungsorientiert.

Anders sind die Verhältnisse bei der Marknagelung. Der Marknagel als innerer Kraftträger gewährleistet ebenfalls eine gute Stabilisierung, jedoch schaltet er nicht, wie die Druckplatte, die Kraftübertragung über die Corticalis aus, so daß hier bei Belastung ein Druck auf die corticalen Fragmentenden ausgeübt wird und bei primärer Knochenbruchheilung eine belastungsorientierte Durchstrukturierung des Bruchspaltes mit Osteonen zu erwarten ist. Andererseits läßt der Marknagel Mikrobewegungen im Frakturspalt zu, so daß es zu einer mehr oder weniger großen Ausbildung einer Kallusspindel kommt (ALLGÖWER 1), die aber keineswegs als minderwertig zu betrachten ist, da sie den Querschnitt im Frakturbereich vergrößert und somit zur Stabilisierung der Fraktur beiträgt, denn nach den Gesetzen der Mechanik nimmt die Biegefestigkeit eines Stabes ungefähr mit der dritten Potenz seines Durchmessers zu (KÜNTSCHER 53). Auch Einrisse in den Kallus sind nach einwandfrei durchgeführter Osteosynthese kaum zu befürchten, denn KÖBLER (46) konnte spannungsoptisch an einem Plexiglasmodell zeigen, daß trotz stärkster Biegebeanspruchung keine Kraftlinien im Bereich der Kallusspindel auftraten. Dieser Kallus fehlt aber weitgehend bei der Knochenbruchheilung nach einwandfrei durchgeführter Druckplattenosteosynthese. Deshalb wäre es durchaus denkbar, daß durch diese verminderte Stabilität schon geringe Biegekräfte zu Einrissen in der plattenfernen, vermindert belastungsfähigen Corticalis führen könnten. Diese Quer-

schnittsverringerung wurde dann zu einer weiteren Schwächung des Frakturspaltes führen und bei weiterer Belastung eine Reifraktur hervorrufen können.

Es lassen sich aber noch weitere Gründe für eine erhöhte Reifrakturgefahr nach Druckplattenosteosynthese anführen. Sie sind in einer adaptiven strukturellen Veränderung des Knochens durch das Osteosynthesematerial zu suchen.

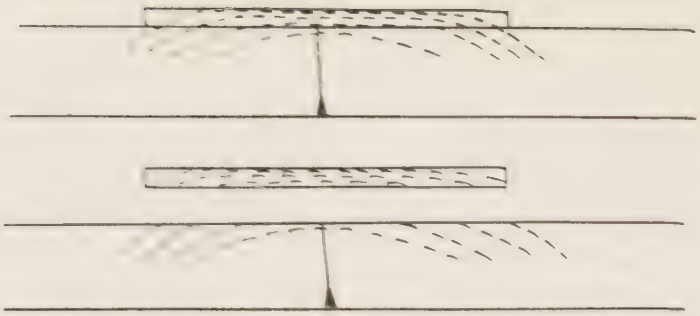
Der Röhrenknochen ist von der Materialverteilung her belastungsoptimal konstruiert. In seiner Außenzone, wo die Druck- und Zugbeanspruchung am größten ist, haben wir in Form der Compacta die größte Materialdichte. Der Knochen ist damit in der Lage bei wechselnder Biegebeanspruchung den einwirkenden Kräften maximal zu widerstehen. Beim Anlegen einer Druckplatte wird jedoch eine einseitige Belastungsebene erzeugt und alle auf den Knochen einwirkenden Kräfte werden in der Druckplatte gesammelt und auf das andere Fragment übertragen, wo sie sich über die Schrauben im Knochen verteilen.
Zeichnung 1 zeigt diesen Vorgang:



(Trajektorienverlauf bei Biegebeanspruchung nach Druckplattenosteosynthese nach KÜBLER u. WIEDEMEIL (45): Trajektorienverlauf bei der Druckplattenosteosynthese und seine biomechanische Auswirkung, Chirurg 41, 80 [illegible])

Die Spannungslinien, die normalerweise bei Biegebeanspruchung in der Corticalis verlaufen, werden jetzt gleichsam außerhalb des Knochens - nämlich über die Druckplatte - übertragen; die Folge ist, daß die Corticalis in diesem Bereich funktionslos wird und atrophiert. Es kommt zu einer "Spongiosierung" dieses Corticalisabschnittes (ALLGÖWER 2, PINIKER 83, SCHENK und WILLENEGGER 88, 89, UEHLINGER und PULS 101). Die Schrauben aber, die bei Biegebeanspruchung mit in den Spannungslinienverlauf einbezogen werden, müssen fest im Knochen verankert werden, wir beobachten deshalb eine Sklerosierung der Spongiosa in Schraubennähe (WAGNER 104).

Diese strukturellen Veränderungen sind somit Folge der unphysiologischen Belastung des Knochens durch die Druckplatte. Sie können sich verhängnisvoll für die Belastungsfähigkeit des Knochens nach Entfernung der Platte auswirken, da sie plattenbezogen sind und nur bei liegender Platte sinnvoll erscheinen. Deshalb darf die Platte erst dann entfernt werden, wenn sie funktionslos geworden ist, d.h. wenn der Bruchspalt mit belastungsorientiertem Lamellenknochen ausgefüllt ist, so daß der Knochen alle einwirkenden Kräfte aufnehmen kann. Wird sie jedoch früher entfernt, so besteht noch eine plattenbezogene Ausrichtung der Trajektorien, wie Zeichnung 2 zeigt:



Zeichnung 2 : Schwächung der Konstruktion Knochen-Druckplatte infolge Plattenentfernung bei noch nicht ausgereifter knöcherner Konsolidierung des Bruchspaltes nach KÖBLER u. WIECHELL (43): Trajektorienverlauf bei der Druckplattenosteosynthese und seine biomechanische Auswirkung. Chirurg 42, 80 (1971).

Schon durch geringe Biegebeanspruchung kann es zu Einrissen in dem spongiosierten Teil der Corticalis und bei weiterer Belastung zur Refraktur kommen.

Deshalb genügen meist minimale Traumen, um einen Neutralisierungsbruch nach Druckplattenosteosynthese hervorzurufen, wie zwei Fälle aus unserem Krankengut zeigen:

Patient W.Z., 56 J.: Patient kam mit der linken Hand in ein Förderband und zog sich dabei eine Ulnafraktur im proximalen Drittel mit einer Radiusköpfchenluxation zu (Monteggiafraktur). Druckplattenosteosynthese nach 10 Tagen. Nach 1 Jahr Metallentfernung; nach weiteren 3 1/2 Monaten Refraktur, als sich der Patient auf dem Unterarm abstützte.

Patientin M.M., 44 J.: Durch Sturz von der Treppe Radiusfraktur im mittleren Drittel. Wenige Tage später Druckplattenosteosynthese. Nach 11 Monaten Plattenentfernung, 4 Tage später Refraktur, als die Patientin eine Tür aufschließen wollte.

Auch BÄHR (70) hat auf dem Deutschen Chirurgenkongreß 1964 ähnliche Fälle erwähnt. Er berichtete dort von zwei Oberschenkelschaftbrüchen, die mit je zwei Druckplatten versorgt wurden. Nach einem Jahr Entfernung des Osteosynthesematerials mit dem Resultat, daß "beide Frakturen wenige Tage bzw. Wochen später spontan wieder auseinanderfielen".

Die Hauptursache dieser Refrakturen ist zweifellos in einer zu frühen Entfernung der Druckplatte zu suchen. Bei der Beurteilung der Frakturzone sind wir auf das Röntgenbild angewiesen, die klinische Untersuchung hat wegen der stabilen Osteosynthese wenig Aussagekraft. Das Röntgenbild wiederum zeigt nur das Verschwinden des Bruchspaltes an, sagt jedoch nichts über den Grad der Durchstrukturierung aus (SEGMÜLLER und ALLGÖWER 92). Berücksichtigt man noch, daß die Osteone zu ihrer vollständigen Ausreifung etwa mehr als ein Jahr benötigen (MÜLLER 68), so erscheint es sinnvoll, die Platte erst nach 1 1/2 bis 2 Jahren zu entfernen, um diese Sekundärfrakturen nach Möglichkeit zu verhindern. Auch sollte der Patient nach Entfernung der Platte die verletzte Extremität nur allmählich stärker belasten.

Zusammenfassend läßt sich das wesentlich häufigere Auftreten der Sekundärfrakturen nach Armplattenosteosynthese als nach MarkNagelung, das wir in unserem Krankengut beobachten, wie folgt deuten:

1. Die Druckplatte schaltet die Kraftübertragung durch die Corticalis im Gegensatz zum Marknagel weitgehend aus, dadurch kommt es zu einer Spongiosierung dieses funktionslos gewordenen Corticalisabschnittes. Nach Entfernung der Platte ist dieser vermindert belastbare Bereich aber den stärksten Biegebeanspruchungen [illegible].

2. Die Druckplatte verhindert durch ihre Starrheit, daß physiologische Belastungen sich funktionell auf die Strukturierung der Bruchzone auswirken können, während der Marknagel diese Belastungen zuläßt und es hier sofort zu einer belastungsorientierten Durchstrukturierung des Frakturspaltes kommt.

3. Die mit einem Marknagel versorgte Fraktur heilt meist unter Bildung einer Kallusspindel; das führt zu einer Erhöhung der Stabilität der Frakturzone, während die Druckplatte selbst minimale Deformierungen verhindert, so daß hierbei kaum periostale Kallusbildung zu sehen ist.

Bei der konservativen Behandlung ist die Möglichkeit eines Neutralisationsbruches ausgeschlossen, da es mit konservativen Mitteln nicht gelingt, eine Fraktur absolut ruhig zu stellen. Diese Frakturen heilen immer unter Bildung einer Kallusspindel. Der Gipsverband als äußere Schiene ist gar nicht in der Lage, sich strukturbestimmend in die Knochenbruchheilung einzuschalten.

[illegible] Der Versprödungsbruch

Er tritt aufgrund einer Knochenversprödung auf, bezüglich seiner Lokalisation kann man ihn als Grenzzonen- bzw. [illegible] läuft nie durch den alten Frakturspalt.

Man spricht in der Festigkeitslehre von Versprödung, wenn ein Körper seine elastischen Eigenschaften verliert. Dieser Vorgang läßt sich folgendermaßen veranschaulichen: Wird ein Körper in einer Richtung unter Druck gesetzt, so dehnt er sich senkrecht dazu aus. Im Winkel von 45° dazu entwickelt sich eine Schubspannung, weil die Kristalle des Körpers in eine für sie [illegible] ein einachsiger Spannungszustand [illegible] dem noch in einer anderen Richtung belastet, so entsteht ein zweiachsiger Spannungszustand. Er verliert dabei immer mehr seine Schubfähigkeit und damit seine Elastizität, die Folge ist eine Versprödung, da die Verringerung der Schubspannungen eine Formänderungsbehinderung bedeutet. Diese Versprödung, die durch einen mehrachsigen Spannungszustand hervorgerufen wurde, ist keine Materialeigenschaft, sondern eine Folge der Belastung, und wir bezeichnen sie als Spannungsversprödung (LEITZ 61).

Vor allem nach Anbringen von Druckplatten und Kompressionsschrauben ist die Gefahr einer Spannungsversprödung des Knochens gegeben. Durch eine von außen einwirkende Kraft, hervorgerufen durch Schlag, Stoß oder Fall entwickelt sich ein zweiachsiger Spannungszustand, die Folge kann ein Brechen des versprödeten Knochens sein. Noch ungünstiger liegen die Verhältnisse bei zwei Druckplatten, die rechtwinklig zueinander angebracht sind. Hier liegt von vornherein ein zweiachsiger Spannungszustand vor, der sich durch äußere Krafteinwirkung zu einem dreiachsigen entwickelt (LEITZ 60).

In unserem Krankengut beobachteten wir den Versprödungsbruch in 2 Fällen nach Drahtumschlingung. Hierbei kommt zu der Versprödung noch ein weiterer Faktor hinzu, die Kerbwirkung. Die Ausbildung einer spitzen Kerbe in der

Corticalis bewirkt neben einer Querschnittsverringerung auch eine Spannungsversprödung im Kerbgrund bei Biegebeanspruchung. Durch wiederholte Belastung kann ein Bruch des Knochens die Folge sein, wie folgender Fall aus unserem Krankengut zeigt:

Patient K.F., 29 J.: Patient stürzte beim Spaziergang in eine Baugrube und zog sich dabei einen Oberschenkelspiralbruch zu. Operative Versorgung mit mehreren Drahtcerclagen. Nach 2 1/2 Monaten Belastung des Beines. Nach weiteren 9 Monaten Refraktur. Der Patient verspürte plötzlich Schmerzen im Bein beim Gehen; es handelte sich diesmal um einen Stückbruch im Bereich der liegenden Drahtcerclagen.

Nach Drahtumschlingung ist neben dem Versprödungsbruch auch der Dystrophiebruch in Erwägung zu ziehen, denn durch das feste Anbringen der Cerclagen wird die Durchblutung des Knochens sicherlich gestört (DENCKER 23, OLSSON 71), andererseits liegen im vorliegenden Fall 11 1/2 Monate zwischen operativer Versorgung und Sekundärfraktur, und man sollte annehmen, daß sich bei dem jungen Patienten die anfänglich gestörte Blutversorgung weitgehend normalisiert hat; ebenfalls läßt die Bruchform an eine Versprödung im Bereich der Cerclagen denken.

Auch bei der Druckplattenosteosynthese kommt es zur Ausbildung einer spitzen Kerbe am Plattenende, da sich die Platte hier bei Biegebeanspruchung in den Knochen einpreßt. Übermäßige Biegebeanspruchung kann dann zu den sogenannten Plattenendzonenbrüchen führen, einmal bedingt durch die Kerbwirkung, zum anderen durch eine

Spannungsversprödung infolge abrupter Kraftumleitung am Plattenende (LEITZ 60). Die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (A und O) empfiehlt daher das Aufbiegen der Plattenenden, um schädliche Kerben zu vermeiden; werden zwei Druckplatten verwendet, so sollen sie daher versetzt am Knochen angebracht werden.

Es können aber auch Strukturunterschiede im Knochen selbst, wie z.B. eine Knochennarbe eine Gewebsversprödung am Übergang zum normalen Knochen bewirken, wie wir in unserem Krankengut in zwei Fällen feststellen konnten; einer dieser Fälle sei hier als Beispiel angeführt:

Patient K.M., 26 J.: Patient zog sich eine Unterschenkelschrägfraktur im mittleren Drittel zu, die auswärts konservativ behandelt wurde und zu knöcherner Konsolidierung führte. Nach 2 Jahren stürzte der Patient beim Fußballspiel und zog sich eine Refraktur zu. Die Tibia brach fingerbreit unterhalb der ehemaligen Frakturzone, während die Fibula diesmal im proximalen Drittel brach.

Offensichtlich hatte im vorliegenden Fall die Frakturstelle gegenüber der Umgebung eine erhöhte Belastbarkeit erlangt. Denkbar wäre das durch eine Corticalisverdickung und daraus resultierender Querschnittsvergrößerung oder auch durch vermehrte Kalkeinlagerung. Deshalb brach der Knochen nicht in der ehemaligen Bruchebene, sondern an der Grenze zum gesunden Knochen (Grenzzonenbruch).

Auf die Möglichkeit dieser Sekundärfrakturen hatte auch schon BÜTTNER (20) hingewiesen , als er bemerkte, daß der kindliche Knochen durch die Frakturheilung auf lange

Zeit offenbar seine "eigentümliche elastische Beschaffenheit verliert und dem spröden Knochen des Erwachsenen viel näher steht."

In einem Fall beobachteten wir einen Versprödungsbruch nach Marknagelung:

Patient W.K., 17 J.: Durch Verkehrsunfall Ober- und Unterschenkelfraktur, beide im mittleren Drittel. Nach anfänglich konservativer Behandlung Marknagelung beider Brüche. Nach 6 Monaten Refraktur des Unterschenkels als der Patient auf das verletzte Bein fiel. Das Röntgenbild zeigte den genagelten Unterschenkelbruch und eine drei querfingerbreit darüberliegende Sekundärfraktur.

Auch in diesem Fall war der ursprüngliche Frakturspalt stärker belastbar als der darüber liegende Knochenabschnitt. Klassische Versprödungsbrüche nach Marknagelung, bei denen der Knochen am Ende des Marknagels bricht, in Analogie zu den Plattenendzonenbrüchen, wird es wohl kaum geben, weil die durch den Marknagel übertragenen Spannungen gleichmäßig durch die Spongiosa aufgenommen werden können, so daß es hierbei kaum zu gefährlichen Spannungsspitzen kommt. Zum anderen ist der Marknagel nicht in der Lage, eine zu Beginn der Frakturheilung durch seinen festen Sitz vielleicht auftretende Spannungsversprödung aufrecht zu erhalten, da er sich im Laufe der Frakturheilung durch Aufblätterung der inneren Compactaschichten infolge Druckatrophie lockert (UEHLINGER und PULS 101).

Wird eine Frakturfixation gleich durch eine elastische Verklemmung vorgenommen, wie z.B. durch den Rush-pin oder die Bündelnagelung nach Hackethal, so kann es schon

gar nicht zu einer gefährlichen Spannungsversprödung kommen.

Die Verhinderung dieser Sekundärfrakturen muß darauf zielen, die Möglichkeiten der konservativen Behandlung weitestgehend auszuschöpfen, zum anderen solche Osteosyntheseverfahren zu bevorzugen, die kaum Versprödungen verursachen und zum dritten das Osteosynthesematerial sobald wie möglich wieder zu entfernen.

5.5 Der Dystrophiebruch

Die Dystrophierefraktur ist bedingt durch eine ungenügende Ernährung des Knochens.

Zweifelsohne ist eine ungestörte Ernährung die wichtigste Voraussetzung für eine einwandfreie Konsolidierung der Fraktur und die Festigkeit des Knochens.

Grundlegende tierexperimentelle Arbeiten von ANDERSON (5), GÖTHMAN (31), RHINELANDER (80) und TRUETA (99) haben bewiesen, daß die Blutversorgung der Corticalis zu 2/3 von den Markgefäßen aus erfolgt und nur das äußere Drittel von den periostalen Blutgefäßen versorgt wird.

Bei der Marknagelung mit Aufweitung der Markhöhle werden die endostalen Blutgefäße weitgehend geschädigt, bei der Druckplattenosteosynthese die periostalen. Auch bei der konservativen Einrichtung eines Bruches können grobe Repositionsmanöver zu erheblicher Schädigung der periostalen Blutgefäße führen. Daß wir klinisch trotzdem keine nennenswerte Beeinträchtigung der Frakturheilung sehen, liegt daran, daß genügend Anastomosen zwischen den beiden Versorgungssystemen bestehen.

Ungenügend wird die Blutversorgung jedoch, wenn [illegible] werden. Deshalb sollte man z.B. bei der Marknagelung [illegible] versorgen, um eine bessere Stabilität zu erreichen. Folgender Fall aus unserem Krankengut sei als Beispiel [illegible]

Patientin W.M., 68 J.: Patientin zog sich eine Oberschenkelschrägfraktur im proximalen Drittel zu. Da der Marknagel keine ausreichende Stabilität [illegible] eine Drahtcerclage angebracht. Im Laufe der Behandlung kam es nach anfänglicher Kallusbildung zu Resorptionen in der Frakturzone und schließlich zur Refraktur.

Bei dieser Refraktur hat sicher auch das Alter der Patientin eine Rolle gespielt, da wir hier schon primär mit einer schlechteren Durchblutung als bei einem jüngeren [illegible] Schädigung der periostalen und endostalen Blutgefäße bei der Operation wurde die Ernährung des Knochens [illegible].

In 4 Fällen sahen wir Dystrophiebrüche nach konservativer Behandlung, hierbei kann die Blutzufuhr durch ungepolsterte Gipsverbände bei frischen Frakturen beeinträchtigt werden, denn durch das Frakturödem wird ein Druck auf die Blutgefäße ausgeübt (BÖHLER [illegible]); ebenso können zu große Gewichte bei der Extensionsbehandlung eine Distraktion der Knochenfragmente bewirken, wobei ebenfalls ein schädigender Druck auf die Blutgefäße ausgeübt werden kann (BÖHLER [illegible], SEIFFERT und [illegible] [illegible]).

Durch eine bakterielle Entzündung muß auch mit einer Beeinträchtigung der Frakturheilung gerechnet werden. In unserem Krankengut beobachteten wir nach zwei Druckplattenosteosynthesen Infektionen, die zu Refrakturen führten; bei dieser Osteosynthesemethode ist die Gefahr einer Infektion erheblich größer als bei der Marknagelung, da der Frakturbereich weit eröffnet werden muß, während bei der gedeckten Marknagelung nur ein kleiner Einschnitt nötig ist, um den Nagel eintreiben zu können.

Die Verhütung dieser Sekundärfrakturen besteht einmal darin, bei der konservativen Behandlung grobe Repositionsmanöver zu vermeiden. Bei der operativen Behandlung sollte man schonend vorgehen und bei einem etwaigen nochmaligen Eingriff das primär durchgeführte Osteosyntheseverfahren erneut anwenden.

5.6 Schlußfolgerungen

Die konservative Behandlung weist mit 2,94 % neben der Marknagelung mit 2,26 % eine relativ geringe Refrakturhäufigkeit im Vergleich zur Druckplattenosteosynthese mit 8,84 % und der Drahtcerclage mit 4 Refrakturen bei 15 Patienten auf.

Hauptsächlich sehen wir nach konservativer Behandlung Refrakturen durch zu frühe Belastung - hier vor allem bei Kindern und Jugendlichen - und durch gestörte Ernährung und damit verbundener ungenügender Kallusbildung. Im Hinblick auf die Refrakturhäufigkeit ist somit die klassische Frakturheilung durch Kallusbildung der primären Knochenbruchheilung sicher nicht unterlegen. Mag der Fixationskallus von der Qualität her der primär angiogenen Knochenbildung unterlegen sein, so wird das

durch die Quantität weitgehend kompensiert, denn durch die damit verbundene Querschnittsvergrößerung wird die Belastbarkeit erhöht. Mit zunehmender Durchstrukturierung und Verfestigung des Bruchspaltes geht ein Abbau des überflüssig werdenden Kallus Hand in Hand (KUNER und WELLER 58); es herrscht somit immer Übereinstimmung zwischen Beanspruchung und Belastbarkeit des neugebildeten Knochengewebes.

Bei der Marknagelung ist die Kallusspindel ebenfalls als Positivum zu werten; aber auch bei primärer Knochenbruchheilung ist mit einer belastungsorientierten Anordnung des neugebildeten Lamellenknochens zu rechnen. Wir beobachteten im bearbeiteten Zeitraum 8 Sekundärfrakturen nach Marknagelung, die sich gleichmäßig auf alle Gruppen verteilen. Eine signifikante Häufigkeit in einer Gruppe, die auf die Schwäche der Methode zurückzuführen wäre, ist nicht festzustellen.

Bei der Druckplattenosteosynthese sehen wir besonders viele Sekundärfrakturen durch Plattenbruch und funktionelle Anpassung des Knochens an das Osteosynthesematerial. Die Starrheit der Platte in Verbindung mit der festen Verankerung der Schrauben im Knochen ist wohl ein Hauptgrund für diese Refrakturen. Hinzu kommt noch eine Versprödung des Knochens im Bereich der Platte. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß bei dieser Osteosynthesemethode die Sekundärfrakturhäufigkeit rund 4 mal höher als bei der Marknagelung ist.

Die Drahtcerclage ist im Laufe der Zeit von anderen Osteosynthesemethoden abgelöst worden und deshalb heute kaum noch von Interesse. Die Ursache der relativ vielen Sekundärfrakturen nach dieser Methode ist neben einer

ungenügenden Stabilisierung der Frakturzone in einer Versprödung des Knochens und einer Schädigung der Blutgefäße zu suchen.

Auch der Rush-pin findet heute immer weniger Anwendung, da mit ihm durch seine Biegsamkeit nur eine federnde Fixation zu erreichen ist und diese Methode mit einer hohen Pseudarthroserate behaftet ist. Refrakturen sind selten und stellen die Ausnahme dar, da hier weder eine Versprödung noch eine funktionelle Anpassung des Knochens an das Osteosynthesematerial stattfindet.

6. Z U S A M M E N F A S S U N G

1. Die Refraktur langer Röhrenknochen war früher Thema weniger, aber ausführlicher Arbeiten, während sie heute im traumatologischen Schrifttum kaum Beachtung findet.

2. Anhand des Krankengutes der Chirurgischen Universitätsklinik Marburg/Lahn werden alle Schaftfrakturen der langen Röhrenknochen der Jahre 1961 - 1970 erfaßt. Die Ursache der in diesem Zeitraum aufgetretenen Refrakturen wird näher ergründet; dabei zeigt sich, daß sie auf wenige Faktoren zurückzuführen sind, wie zu frühe Belastung, Ermüdung, funktionelle Anpassung des Knochens an das Metallimplantat, Versprödung und gestörte lokale Ernährung.

3. Da die alte Einteilung der Refrakturen die biomechanischen Probleme, die erst aufgrund moderner Osteosynthesevorfahren aufgetreten sind, unberücksichtigt läßt, wird eine neue Einteilung der Refrakturen vorgenommen:
   a) Kallusbruch, hervorgerufen durch plötzliche Überbelastung eines störungsfrei unter Kallusbildung heilenden Knochens,
   b) Ermüdungsbruch, hervorgerufen durch mehr oder weniger chronische Überbelastung,
   c) Neutralisationsbruch, hervorgerufen durch funktionelle Anpassung des Knochens an das Osteosynthesematerial,
   d) Versprödungsbruch, hervorgerufen durch Veränderungen des Spannungszustandes des Knochens,
   e) Dystrophiebruch, hervorgerufen durch gestörte Ernährung.

4. Bei Auswertung des Krankengutes ergibt sich, daß die konservative Behandlung mit 2,94 % neben der Marknagelung mit 2,26 % eine relativ geringe Refrakturhäufigkeit im Vergleich zur Druckplattenosteosynthese mit 8,84 % und der Drahtcerclage mit 4 Refrakturen bei 15 Patienten aufweist.

   Refrakturen nach konservativer Behandlung treten sehr häufig durch zu frühe Belastung - hier vor allem bei Kindern und Jugendlichen - und durch gestörte Ernährung des Knochens.

   Bei der Markknagelung ergibt sich keine signifikante Häufigkeit in einer Gruppe, die auf die Nachteile der Methode zurückzuführen wäre.

   Bei der Druckplattenosteosynthese beobachten wir besonders viele Sekundärfrakturen durch Bruch der Implantate und funktionelle Anpassung des Knochens an das Osteosynthesematerial. Im Vergleich zur Markknagelung ist hier die Refrakturhäufigkeit rund 4 mal höher.

   Die Refrakturen nach Drahtcerclage wurden ausgelöst durch Verspröding des Knochens und eine Verödigung der Blutgefäße.

5. Auf die Verhütung der einzelnen Sekundärfrakturen wird im Diskussionsteil jeweils kurz eingegangen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. ALLGÖWER, M.:
Osteosynthese und primäre Knochenbruchheilung.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 308, 423 (1964)

2. ALLGÖWER, M.:
Funktionelle Anpassung des Knochens auf physiologische und unphysiologische Beanspruchung.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 319, 383 (1967)

3. ALLGÖWER, M.; M.E.MÜLLER, R.SCHENK, H.WILLENEGGER:
Biomechanische Prinzipien bei der Metallverwendung am Knochen.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 305, 1 (1963)

4. ALLGÖWER, M.:
Verschraubung von Tibiafrakturen.
Helv. Chir. Acta 1/2, 214 (1961)

5. ANDERSON, L.: Compression Plate Fixation and the Effect of Different Types of Internal Fixation on Fracture Healing.
J. Bone Joint Surg. 47-A, 191 (1965)

6. ARNESEN, A.J.A.:
Encircling Suture in Oblique Fractures.
Acta Chir. Scand. 102, 267 (1952)

7. ASAL : Überbelastungsschäden am Knochensystem bei Soldaten.
Arch. klin. Chir. 186, 511 (1936)

8. BASSETT, C.A.L.:
Nature (Lond.) 190, 460 (1961)

9. BEDACHT, R.:
Knochenbruchbehandlung und Knochenbruchheilung.
Fortschr. d. Med. 10, 407 (1971)

10. BLOCH, H.P.:
Die Druckplattenosteosynthese der Vorderarmschaftfrakturen.
Helv. chir. Acta 26, 98 (1959)

11. BOHLER, L.:
Unterschenkelschaftbrüche.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 276, 192 (1957)

12. BÖHLER, L.:
Unzweckmäßige und gefährliche Methoden bei der Behandlung von Frakturen.
Dtsch. Ztschr. Chir. 255, 231 (1950)

13. BRAY, E.A., V.JEFFRESS :
Fractures of the Femoral Shaft. A clinical Comparison of Treatment by Traction Suspension and Intramedullary Nailing.
Am. J. Surg. 84, 16 (1952)

14. BREMER, B.:
Über Nefrakturen bei Vorderarmbrüchen Jugendlicher.
Zbl. Chir. 18, 1069 (1933)

15. BRUGGATIS, F., M.E.MÜLLER :
Metallbeschaffenheit und Korrosionserscheinungen an Platten und Schrauben.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 308, 15 (1967)

16. BÜRKLE DE LA CAMP, H.:
Wandlungen und Fortschritte in der Lehre von Knochenbrüchen.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 276, 163 (1957)

17. BÜRKLE DE LA CAMP, H.:
Über das Verhalten der Knochenhaut beim Bruch des Röhrenknochens.
Dtsch. Ztschr. Chir. 242, 364, 391 (1937)

18. BÜRKLE DE LA CAMP, H.:
Die einfachste Frakturenbehandlung einschließlich Extension.
Dtsch. Ztschr. Chir. 255, 271 (1960)

19. BÖRKLE DE LA CAMP, H.:
Fehler und Gefahren bei der operativen Behandlung frischer Frakturen.
Dtsch. Zschr. Chir. 298, 87 (1961)

20. BÖTTNER, A.:
Über Refrakturen im Kindesalter.
Chir. 19, 347 (1948)

21. BURWELL, N., A.D.CHARNLEY :
Treatment of Forearm Fractures in Adult with Particular Reference to Plate Fixation.
J. Bone Joint Surg. 46-B, 404 (1964)

22. CONTZEN, A.:
Frakturheilungsstörungen durch unzureichende biomechanische Bedingungen.
Bericht über die unfallmedizinische Tagung in Mainz 1966.

23. ZENCKER, H.:
Refracture of the Shaft of the Femur.
Acta orthop. Scand. 35, 16 (1964)

24. FOGERS, G.W.N.:
Internal Contact Splint.
J. Bone Joint Surg. 30-A, 40 (1948)

25. EHALT, W.:
Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen.
Ferd. Enke Verlag, Stuttgart 1961

26. FASEL, A.:
Wiederholte Oberschenkelbrüche bei einem Jugendlichen und Unfallbegutachtung.
Mschr. Unfallheilk. 63, 270 (1960)

27. FISCHER-WASELS, J., H.B.SCHÜNEMANN:
Zur Frage der Marknagelfrakturen.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 46, 207 (1955)

28. FRINTA, J.:
Refrakturen im Kindesalter.
Zbl. Chir. 82, 1241 (1957)

29. GEISER, M.:
Beiträge zur Biologie der Knochenbruchheilung.
Ferd. Enke Verlag, Stuttgart 1963

30. GEISER, M.:
"Soudure autogène" und Per-primam-Heilung bei stabil fixierten Schaftfrakturen?
Helv. chir. Acta 28, 499 (1961)

31. GÖTHMAN, L.:
Vascular Reactions in Experimental Fractures.
Micoangiographic and Radioisotope Studies.
Acta Chir. Scand. Supp. 284 (1961)

32. GRIESSMANN, H., W.SCHÜTTMEYER :
Weitere Erfahrungen mit der Marknagelung nach Küntscher an der Chir. Universitätsklinik Kiel.
Chirurg 17/18, 316 (1947)

33. GRIESSMANN, H., H.REICH :
Vergleichende Untersuchungen über den Ablauf der Knochenbruchheilung bei der Marknagelung und bei den mit Gipsverband behandelten Frakturen.
Arch. klin. Chir. 205, 455 (1943)

34. GROH, P.:
Die Behandlung von Frakturen langer Röhrenknochen mit der AO-Osteosynthesemethode und ihre Ergebnisse.
Inaug. Diss. Univ. Saarland (1968)

35. HAASE,W., G.RICHTER :
Knochenbrüche, beurteilt nach Grundsätzen und Erkenntnissen der technischen Mechanik.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 36, 541 (1936)

36. HAASE, W.:
Technisch-physikalische Untersuchungen an Knochenbrüchen.
Bruns Beitr. klin. Chir. 164, 243 (1936)

37. HAASE, W.:
Schubebenen und Zerrüttungszonen beim Knochenbruch.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 57, 592 (1957)

38. HABLER, C.:
Die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Osteosynthesemethoden bei frischen geschlossenen Brüchen.
Chirurg 10, 455 (1951)

39. HABLER, C., O. REISS :
Experimentelle Untersuchungen über die Festigkeit des Knochens im normalen und im Zustand der Bruchheilung.
Dtsch. Zschr. Chir. 246, 486 (1936)

40. HARTMANN, E.R.:
The Problem of Refracture in Fractures of the Femoral Shaft.
J. Bone Joint Surg. 36-A, 1071 (1954)

41. JORES, L.:
Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung mechanischen Druckes auf den Knochen.
Beiträge zur patholog. Anatomie und allgem. Pathologie 66 (1920)

42. KAPEL, O.:
Über Refractura Antebrachii.
Chirurg 9, 952 (1937)

43. KEIL, W.:
Refraktur eines kindlichen Oberschenkels nach Drahtumschlingung.
Zbl. Chir. 41, 1038 (1958)

44. KNESE, K.H., D.VOGES, J.RITSCHL :
Untersuchungen über die Osteon- und Lamellenformen im Extremitätenskelett des Erwachsenen.
Zschr. f. Zellforsch. 40, 323 (1954)

45. KOBLER, H., E.WIECHELL :
Trajektorienverlauf bei der Druckplattenosteosynthese und seine biomechanische Auswirkung.
Chirurg 42, 80 (1971)

46. KÖBLER, H.:
[illegible]
durch angiogene Knochenbildung und nach Marknagelung durch Kallus konsolidierten Bruchspaltes.
Bruns Beitr. klin. Chir. [illegible], [illegible] ([illegible])

47. KÖBLER, H., A. SCHIPKE:
Important Biomechanical Aspects of Modern Methods of Osteosynthesis.
(im Druck)

48. KÖBLER, H., A. SCHIPKE:
Die Refraktur von Schaftbrüchen.
Mschr. f. Unfallheilk. 7, 302 ([illegible])

49. KÖNIG, F.:
Über "Scheinheilung" als Ursache von Spätschäden bei Knochenbrüchen.
Zbl. Chir. 26, 1547 ([illegible])

50. KROMPECHER, S.:
Die Knochenbildung.
Fischer, Jena [illegible]

51. KÜNTSCHER, G.:
Das Kallusproblem.
Ferd. Enke Verlag, Stuttgart [illegible]

52. KÜNTSCHER, G.:
Praxis der Marknagelung.
Schattauer Verlag, Stuttgart [illegible]

53. KÜNTSCHER, G.:
Ein Kallusmodell.
Zbl. Chir. 40, [illegible] ([illegible])

54. KÜNTSCHER, G.:
Die biologischen Gesetze der Knochenbruchheilung I und II.
Chirurg 6, 261 ([illegible])

55. KÜNTSCHER, G.:
Viel oder wenig Kallus.
Mschr. f. Unfallheilk. 56, [illegible] ([illegible])

56. KÜNTSCHER,G.:
Dauerbruch und Umbauzone.
Bruns Beitr. klin. Chir. 169, 557 (1939)

57. KÜNTSCHER,G.:
Zur Frage der Implantatentfernung.
Chirurg 42, 85 (1971)

58. KUNER, E., S. WELLER :
Zur Frage der Metallentfernung nach Osteosynthesen.
Dtsch. med. Wschr. 93, 108 (1968)

59. LAM, S.J.:
The Place of Delayed Internal Fixation in the Treatment of Fractures of the Long Bones.
J. Bone Joint Surg. 46-B, 393 (1964)

60. LEITZ,G.:
Typische Komplikationen nach Osteosynthesen und ihre biomechanischen Ursachen.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 64, 285 (1968)

61. LEITZ,G.:
Ursachen des Bruchverhaltens langer Röhrenknochen. Untersucht am Beispiel der menschlichen Fibula.
Ferd. Enke Verlag, Stuttgart 1970

62. LEITZ,G.:
Mechanische Konsequenzen der Kortikalispanentnahme.
Zschr. Orthop. 105, 484 (1968)

63. LEMPERT, H., H.GURN :
Ergebnisse der Marknagelung nach Küntscher (111 Nagelungen in 35 Krankenhäusern).
Arch. orthop. Unfall-Chir. 45, 143 (1952)

64. LEMPERT, H.:
100 Marknagelungen in 27 Krankenhäusern.
Hefte z. Unfallheilk. 40, 24 (1951)

65. MATZEN, P.F.: Vom Einfluß mechanischer Einwirkungen auf die Kallusbildung.
Beitr. z. klin. Chir. 188, 97 (1954)

66. MATZEN, P.F.:
Zur Histologie der Kallusbildung unter wechselnden mechanischen Bedingungen.
Zbl. Chir. 50, 2120 (1953)

67. MITTELBACH, H.R., A.BUSCHMANN :
Vorderarmschaftbrüche. Prinzipien, Techniken und Ergebnisse einer allgemein-chirurgischen Klinik.
Chirurg 7, 306 (1967)

68. MÜLLER, M.E.:
Zur Frage der primären Frakturheilung nach Osteosynthese.
Dtsch. med. Wschr. 90, 2366 (1965)

69. MÜLLER, M.E.; M.ALLGÖWER, H.WILLENEGGER :
Manual of Internal Fixation.
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1970

70. NEFF, G.:
Diskussionsbeitrag.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 308, 459 (1964)

71. OLSSON, O.:
Some Cases of Necrosis of the Bone by Encircling Suture (Cerclage) in Oblique Fractures.
Acta Chir. Scand. 99, 85 (1950)

72. OSTERLAND
Spontanfrakturen bei Soldaten nach Reichsheerbeobachtungen.
Arch. klin. Chir. 179, 567 (1934)

73. PELZL, H.:
Nachbehandlungen nach Osteosynthesen.
Fortschr. Med. 17, 711 (1971)

74. PERITZ, F.:
Rezidivfrakturen am Vorderarm.
Zbl. Chir. 54, 3282 (1927)

75. PETROKOV, V.:
Die Biomechanik der Kallusbildung und experimentelle Bewertung der Druckosteosynthese.
Bruns Beitr. klin. Chir. 205, 265

76. PUTSCHAR,G.W.:
Allgemeine Morphologie und Dynamik des Knochenumbaus unter normalen und pathologischen Bedingungen.
Verh. dtsch.Ges. Path. 47. Tagg. 113 (1963)

77. RAY,R., B.SANKARAN, K.PETROW :
Delayed Union and Nonunion of Fractures.
J. Bone Joint Surg. 46-A, 627 (1964)

78. REHM,J., D.UEBINGER:
Die Behandlung von Frakturen langer Röhrenknochen mit dem Marknagel nach Küntscher.
Arch. Orthop. Unfall-Chir. 55, 82 (1963)

79. [illegible]
Die Infektion und Regeneration des frischen Knochenbruches unter besonderer Berücksichtigung der Marknagelung nach Küntscher.
Zschr. Orthop. 77, 1 (1948)

80. RHINELANDER,F.W., R.A.BARAGRY :
Microangiography in Bone Healing.
J. Bone Joint Surg. 44-A, 1273 (1962)

81. RISCHANY,S.F., H.SPRINZ, K.KRANER, J.ASBY, T.MERRILL :
The Role of the Diaphysial Medulla in the Repair and Regeneration of the Femoral Shaft in the Adult Cat.
J. Bone Joint Surg. 47-A, 1565 (1965)

82. RICHON,A., J.J.LIVIO, F.SAEGESSER :
Les refractures après osteosynthèse par plaque àcompression.
Helv. chir. Acta 34, 49 (1967)

83. RINIKER,P.:
Pathologie der Frakturheilung.
Zschr. Unfallmed. Berufskrh. 57, 211 (1964)

24. ROHDE, C.:
Über den Ablauf der Regenerationsvorgänge an Röhrenknochen bei erhaltener und geschädigter Gefäßversorgung.
Arch. Chir. 123, 531 (1923)

25. SARGENT, J.P., W.A.TLIPNER :
Treatment of Forearm Shaft Fractures by Double-Plating.
J. Bone Joint Surg. 47-A, 1475 (1965)

26. SAUPE, H.:
Rezidivbrüche und Refrakturen.
Arch. klin. Chir. 261, 435 (1941)

27. SEIFFERT, K.E., C.TIBOLER:
Zur Behandlung der offenen Unterschenkelbrüche.
Bruns Beitr. klin. Chir. 207, 187 (1963)

28. SCHENK, R., H.WILLENEGGER :
Zum histologischen Bild der sogenannten Primärheilung der Knochenkompakta nach experimentellen Osteotomien am Hund.
Experientia (Basel) 19/10, 533 (1963)

29. SCHENK, R., H.WILLENEGGER :
Zur Histologie der primären Knochenheilung.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 308, 440 (1964)

30. SCHLOSSER, V.:
Traumatologie.
Thieme Verlag, Stuttgart 1966

31. SCHMITZ, V.:
Zu den Problemen der Osteosynthese, der Knochenneubildung und der Knochenverpflanzung.
Chirurg 31, 220 (1960)

32. SCHMOLLER, G., M.ALLGÖWER :
Realität und Relativität der primären Knochenheilung.
Chirurg 36, 304 (1965)

93. SEGMÜLLER,G., E.CORRODI, G.KESSLER :
Ergebnisse der Tibiaosteosynthese: Untersuchungen an drei geschlossenen Serien von insgesamt 402 Fällen.

Zschr. Unfallmed. Berufskrh. 57, 252 (1964)

94. STRAUMANN,F., S.STEINMANN, O.POTZLER, H.WILLENEGGER, R. SCHENK :
Neue experimentelle und klinische Ergebnisse über die Metallose.

Langenbecks Arch. klin. Chir. 305, 2[illegible] (1963)

95. STEINHAUSER,J.:
Zur Ätiologie von Ermüdungsbrüchen nach Platten- bzw. Schrauben-Osteosynthesen.

Verh. dtsch.Ges.Orthop. 54, 38[illegible] (1968)

96. SEYFFARTH,G.:
Die Refraktur am kindlichen Vorderarm.

Mschr. Unfallheilk. 56, 525 (1966)

97. STRAUSS,L., F.MANDEL :
Über Rezidivfrakturen.

Dtsch. Zschr. Chir. 258, 281 (1955)

98. TROELL,A.:
Zur Kenntnis von Refrakturen.

Arch. klin. Chir. 109, 376 (1918)

99. TRUETA,J., A.X.CAVADIAS :
Vascular Changes Caused by the Küntscher Type of Nailing. An Experimental Study in the Rabbit.

J. Bone Joint Surg. 37-B, 492 (1955)

100. TSCHERNE,H., F.MAGERL, P.FLEISCHL :
Die Marknagelung frischer offener und geschlossener Unterschenkelfrakturen.

Langenbecks Arch. Chir. 317, 209 (1967)

101. VEHLINGER,E., P.PULS :
Funktionelle Anpassung des Knochens auf physiologische und unphysiologische Beanspruchung.

Langenbecks Arch.klin. Chir. 319, 362 (1967)

102. VIERNSTEIN,K., K.H.TRÄGER :
Konservative oder operative Behandlung der frischen Unterschenkelfrakturen?
MMW 44, 2159 (1965)

103. WACHSMUTH,W.: Zur Ätiologie von schleichenden Frakturen.
Chirurg 9, 16 (1937)

104. WAGNER,H.:
Die Einbettung von Metallschrauben im Knochen und die Heilungsvorgänge des Knochengewebes unter dem Einfluß der stabilen Osteosynthese.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 305, 28 (1963)

105. WIESNER,C.:
Die primäre Knochenbruchheilung und ihre Störung im Röntgenbild.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 308, 434 (1964)

106. WILLENEGGER,H.:
Fragen der operativen Frakturenbehandlung.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 276, 173 (1953)

107. WILLENEGGER,H., S.M.PERREN, R.SCHENK :
Primäre und sekundäre Knochenbruchheilung.
Chirurg 6, 241 (1971)

108. WILLENEGGER,H., R.SCHENK, F.STRAUMANN, M.MÜLLER, M.ALLGÖWER, H.KRÖGER:
Methodik und vorläufige Ergebnisse experimenteller Untersuchungen über die Heilvorgänge bei stabiler Osteosynthese an Schaftfrakturen.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 301, 846 (1962)

109. ZORN,B., MÜNZENBERGER,K.J., RÖSSLER,H. :
Über Komplikationen und Fehler bei der Verwendung des Instrumentariums der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese.
Z. Orthop. 106, 264 (1969)

Am Schluß möchte ich Herrn Dr.med. H. Köbler für die Überlassung des Themas sowie für die Unterstützung bei der Ausführung der Arbeit meinen herzlichen Dank aussprechen.
Herrn Prof. Dr. med. K. Hupe danke ich für die Übernahme des Referates und Herrn Prof. Dr. med. dent. H. Schnell für die Übernahme des Correferates.

L E B E N S L A U F

Am 28. August 1941 wurde ich als Sohn des Bankkaufmanns Kurt Königke und seiner Ehefrau Antje, geb. Doenst in Glatz geboren.

Von 1952 bis 1956 besuchte ich die Grundschule in Hannover und wechselte dann zur Mittelschule über, die ich Ostern 1962 mit der Mittleren Reife verließ. Anschließend begann ich eine 3 1/2 jährige Lehre als Fernmeldemonteur, die im Herbst 1965 beendet war. Ab Ostern 1966 besuchte ich das Abendgymnasium in Hannover, um auf dem zweiten Bildungsweg das Abitur nachzuholen. Am 26.2.1968 bestand ich die Reifeprüfung und begann im Sommersemester 1968 das Studium der Zahnheilkunde in Marburg. Vorphysikum im Frühjahr 1969 und zahnärztliche Vorprüfung im Herbst 1970.

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Herren Professoren

Goebell, Haan, Hennis, Hering, Heuser, Janke, Keil, Korb, Pantke, Petry, Riecken, Rohen, Rosemann, Rupec, Schiff, Schmitz-Moormann, Seidel, Schmidt, Schnell.